

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2001年8月16日 (16.08.2001)

PCT

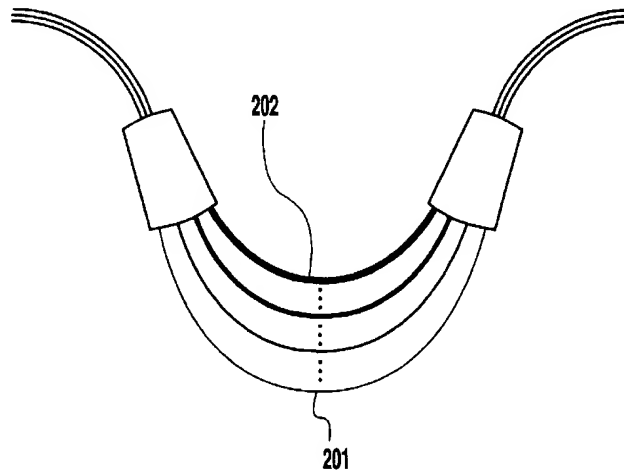
(10) 国際公開番号
WO 01/59495 A1

- (51) 国際特許分類: G02B 6/12 ティエレクトロニクス株式会社 (NTT ELECTRONICS CORPORATION) [JP/JP]; 〒150-0043 東京都渋谷区道玄坂一丁目12番1号 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP01/00938
- (22) 国際出願日: 2001年2月9日 (09.02.2001)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2000-34047 2000年2月10日 (10.02.2000) JP
特願2000-321667
2000年10月20日 (20.10.2000) JP
- (72) 発明者: および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 井上靖之 (INOUE, Yasuyuki) [JP/JP]. 橋詰泰彰 (HASHIZUME, Yasuaki) [JP/JP]. 日比野善典 (HIBINO, Yoshinori) [JP/JP]. 杉田彰夫 (SUGITA, Akio) [JP/JP]. 肥田安弘 (HIDA, Yasuhiro) [JP/JP]; 〒180-8585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 高橋 浩 (TAKAHASHI, Hiroshi) [JP/JP]; 〒150-0043 東京都渋谷区道玄坂一丁目12番1号 エヌティティエレクトロニクス株式会社 経営企画本部内 Tokyo (JP).
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8116 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 Tokyo (JP). エヌティ
- (74) 代理人: 谷 義一 (TANI, Yoshikazu); 〒107-0052 東京都港区赤坂2丁目6-20 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): CA, CN, JP, KR, US.

[続葉有]

(54) Title: WAVEGUIDE OPTICAL INTERFEROMETER

(54) 発明の名称: 導波路型光干渉計



WO 01/59495 A1

(57) Abstract: A waveguide optical interferometer which is free from an additional work and excessive loss of light which accompanies the insertion of a $1/2$ wavelength plate, low in cost, has high reliability and is independent of polarization. In an optical multiplexer / demultiplexer such as an AWG, a Mach-Zehnder interferometer which utilizes interference of light beam passing through a plurality of optical waveguides of different lengths, all the integrals of the birefringence values of the optical waveguides (which may change or not change along the waveguides) in the longitudinal direction of the waveguides (201 and 202) are made to be equal to each other. Thus, polarization-independent operation can be realized and, to the contrary, a polarized beam splitter can be realized only by changing the waveguide widths. For instance, the core width averaged in the longitudinal directions of short optical waveguides out of the optical waveguides having different lengths is made wide, and the averaged core width of long optical waveguides is made narrow, thereby realizing polarization independence.

[続葉有]



(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(57) 要約:

1/2波長板の挿入に伴う付加的な作業や光の過剰損失が発生することなく、低コストで信頼性の高い偏波無依存の導波路型光干渉計を提供する。AWGやマッハツェンダ干渉計など、複数の長さの異なる光導波路を通過する光の干渉を利用した光合分波装置において、各導波路の複屈折値（導波路に沿って変化する場合と一定の場合とがある）を導波路の長手方向に沿って積分した値を全ての導波路201、202で等しくする。これにより、導波路幅を変えるだけで偏波無依存動作を実現したり、逆に偏波ビームスプリッタを実現することが可能となる。例えば、複数の長さの異なる光導波路の長手方向に平均したコア幅を、短い光導波路で広く、長い光導波路で狭くすることで、偏波無依存を得る。

明 細 書

導波路型光干渉計

5 技術分野

この発明は、平面光導波路で構成された導波路型光干渉計に関し、更に詳しくは、その導波路複屈折が導波路コア幅に依存することを利用して、光干渉計の偏波依存性を補償したり、もしくは逆に偏波依存性を強調する技術に関する。

10 背景技術

現在、通信容量の拡大のために複数の光波長を用いた光波長多重通信システム（WDMシステム）の開発が盛んである。この光波長多重通信システムにおいて、送信側で複数の波長の光信号を合波したり、受信側で1本の光ファイバ中の複数の光信号を異なるポートに分波する光波長合分波器として、アレイ導波路格子型光波長合分波器（以下、

15 AWGと略す）が広く使用されている。

従来のAWGの回路構成をFIG. 18に示す。入力導波路1に入射された光は、第1のスラブ導波路2で基板3と水平方向に回折し、複数のアレイ導波路4に結合する。隣接するアレイ導波路4はそれぞれ一定の光路長差を有しているため、第2のスラブ導波路5に結合する際に、複数の光ビームは波長に依存する位相差を持つ。この結果として、複数の光ビームの干渉で生じる焦点は波長に依存して位置が変化する。その焦点位置に予め複数の出力導波路6を配置しておくことにより、AWGは複数光波長を一括して合分波する光波長合分波器として機能する。

20

これまで報告されたAWGでは、複数のアレイ導波路4のコア幅は互いに等しく設計されていた。AWGはガラス、ポリマー、半導体など様々な材料の導波路を用いて作製され、その結果が報告されている。（M. K. Smit, "New focusing and dispersive planar component based on an optical phased array," Electronics Letters, vol. 24, no.

25

7, pp. 385-386, Mar. 1988. Y. Hida 他, "Polymeric arrayed-waveguide grating multiplexer operating around 1.3 μm ," Electronics Letters, vol. 30, pp. 959-960, 1994. M. Zirngibl 他, "Polarization compensated waveguide grating router on InP," Electronics Letters, vol. 31, no. 19, pp. 1662-1664, 1995. 参照)。

- 5 一般に、平面基板上に作製した光導波路は、基板に垂直な方向に電界成分を持つTM光と、基板に平行な方向に電界成分を持つTE光との間で実効屈折率が異なる。これら実効屈折率の差分を導波路複屈折と呼び、以下の式(1)で定義する。

$$B = n_{TM} - n_{TE} \quad (1)$$

10

ここで、Bは導波路複屈折を、 n_{TM} 、 n_{TE} はそれぞれTM光とTE光の実効屈折率を表す。導波路複屈折の発生原因としては、応力誘起複屈折や構造複屈折などがある。

TM光とTE光のAWG中心波長は以下の式(2)で表される。

$$\lambda_{TM} = \frac{n_{TM} \cdot \Delta L}{m} \quad (2)$$

15

$$\lambda_{TE} = \frac{n_{TE} \cdot \Delta L}{m} \quad (3)$$

- 20 ここで、 λ_{TM} および λ_{TE} はTM光とTE光のAWG中心波長、 ΔL は隣接するアレイ導波路の長さの差、mは回折次数(整数)である。

上記の式(1)～(3)からわかるように、導波路複屈折Bが存在する場合、AWGの中心波長 λ_{TM} 、 λ_{TE} はTM光とTE光とで異なる値になる。本来、石英系ガラス光導波路は伝搬損失の偏波依存性はほとんどない。しかしながら、上述の通り中心波長がTM光とTE光とで異なるため、入射光の偏光状態で特性が変化するという偏波依存性

の問題を持っている。

(従来技術の第1例)

この偏波依存性を解消する一つの方法として、FIG. 19に示すように、AWGの中央部でアレイ導波路4中に主軸が 45° 傾いた1/2波長板7を溝8を介して挿入
5 する方法が使われている。(Y. Inoue 他 "Polarization sensitivity elimination in silica-based wavelength-division multiplexer using polyimide half waveplate," IEEE J. Lightwave Technol., vol. 15, no. 10, pp. 1947-1957, Oct. 1997 参照)。

この1/2波長板7はTM光とTE光の偏波モード変換器として機能しており、AWGの回路中央部でTM光とTE光を入れ替えることにより、全体としてその特性を平均
10 化し、偏波依存性を解消している。

(従来技術の第2例)

AWGの上記偏波依存性を解消する別の方法として、石英系ガラスにドーパントを多量に入れて、シリコン基板と同等の熱膨張係数を持たせることにより、AWGの作製時に生じる熱応力を低減し、結果的に偏波依存性を解消する報告もなされている。(S.
15 Suzuki 他, "Polarization-insensitive arrayed-waveguide gratings using dopant-rich silica-based glass with thermal expansion adjusted to Si substrate," IEE Electron. Lett., vol. 33, no. 13, pp. 1173-1174, Jun. 1997. 参照)。

具体的には、石英系ガラス層にシリコン基板からかかる応力を -1MPa 以上 1MPa 以下に調整することにより、導波路複屈折の絶対値を 2×10^{-5} 以下に抑制している。ここで、
20 負符号は圧縮応力、正符号は引っ張り応力を表す。

この従来技術の第2例の方法は、上記の従来技術の第1例の方法に比べて、1/2波長板7の挿入に伴う付加的な作業がなく、且つ過剰損失も生じないため、有望な方法である。しかし、ガラスの圧縮応力が非常に弱いため、AWG作製時の作業工程において石英系ガラス層に容易にクラックが発生したり、石英系ガラス層のドーパント量が多い
25 ために、長期的な耐候性が低く、導波路の結晶化が生じて導波路の光の挿入損失が増加するという問題があった。この信頼性の低さは、通信用光部品として致命的な問題であ

り、その解決が強く求められていた。

このように、従来技術で紹介した2つの偏波無依存化方法は、それぞれ解決すべき課題を持っていた。すなわち、1/2波長板を用いた第1例の従来方法は、1/2波長板の挿入に伴う付加的な作業および光の過剰損失が発生するという課題があり、また石英系ガラスのドーパントを増やしてガラスの熱応力をなくす第2例の従来方法は、その信頼性に課題があった。

本発明の目的は、これらの課題を解決し、低コストで信頼性の高い偏波無依存の導波路型光干渉計を提供することにある。

10 発明の開示

我々は導波路複屈折がコア幅に依存して変化することを今回発見した。本発明は、この現象を利用して付加的な作業や部材を用いずにAWGの偏波依存性を解消する。より詳しくは、アレイ導波路の実効的なコア幅を一本一本変化させることにより、AWGの偏波依存性を解消する。

15 すなわち、上記目的を達成するため、本発明の第1の形態は、基板上の光導波路で構成される光干渉計において、前記光干渉計が光分岐部、複数の長さの異なる光導波路、および光結合部から構成されており、前記複数の長さの異なる光導波路の長手方向に平均したコア幅が互いに異なることを特徴とする。

また、上記目的を達成するため、本発明の第2の形態は、基板上の光導波路で構成される光干渉計において、前記光干渉計が光分岐部、複数の長さの異なる光導波路、および光結合部から構成されており、前記複数の長さの異なる光導波路の長手方向に平均したコア幅が、短い光導波路で広く、長い光導波路で狭いことを特徴とする。

ここで、前記複数の長さの異なる光導波路の複屈折を長手方向に積分した値が、複数の光導波路間で等しいことを特徴とすることができる。

25 また、前記導波路型光干渉計が、2つのスラブ導波路とそれらを結ぶ互いに長さの異なる複数のアレイ導波路からなるアレイ導波路格子型光波長合分波器であり、その複数

のアレイ光導波路コア幅が各アレイ導波路の長さに応じて互いに異なり、且つスラブ導波路との接続部を除き一定の幅であることを特徴とすることができる。

また、前記導波路型光干渉計が、2つのスラブ導波路とそれらを結ぶ互いに長さの異なる複数のアレイ導波路からなるアレイ導波路格子型光波長合分波器であり、その複数の
5 のアレイ光導波路が、スラブ導波路との接続部を除き2種類のコア幅の導波路で構成されており、その2種類の導波路長の比が複数のアレイ導波路間で互いに異なることを特徴とすることができる。

また、前記導波路型光干渉計が、第1のスラブ導波路、第2のスラブ導波路、それらを結ぶ互いに長さの異なる複数のアレイ導波路、前記第1のスラブ導波路に接続された
10 1本あるいは複数本の入力導波路、前記第2のスラブ導波路に接続された1本あるいは複数本の出力導波路からなるアレイ導波路格子型光波長合分波器であり、前記アレイ光導波路の長手方向に平均したコア幅が、短い光導波路で広く、長い光導波路で狭く、その結果として、前記複数のアレイ導波路の複屈折を長手方向に積分した値が、複数のアレイ導波路間で等しいことを特徴とすることができる。

15 また、前記複数のアレイ導波路の個々の導波路に関して、前記第1および第2のスラブ導波路との接続部を除き長手方向に一定の幅であることを特徴とすることができる。

また、前記複数のアレイ導波路の個々の導波路に関して、前記第1および第2のスラブ導波路との接続部を除き2種類もしくは複数種類のコア幅で構成されており、その2種類もしくは複数種類の導波路長の比が複数のアレイ導波路間で互いに異なることを
20 特徴とすることができる。

また、前記2種類もしくは複数種類のコア幅の導波路が、幅が連続的に変化するテーパで接続されていることを特徴とすることができる。

また、前記異なるコア幅の導波路を接続するテーパが、幅の異なる導波路を複数本接続して構成されていることを特徴とすることができる。

25 また、前記互いに長さの異なる複数のアレイ導波路中央部近傍が直線導波路になっていることを特徴とすることができる。

また、前記導波路型光干渉計が、2つの光カプラとそれらを結ぶ互いに長さの異なる2本の導波路からなるマッハツェンダ光干渉計であり、前記2本の光導波路のコア幅が、少なくとも一部において互いに異なり、相対的に短い導波路の平均コア幅が長い導波路の平均コア幅に比べて広いことを特徴とすることができる。

- 5 また、前記導波路型光干渉計が、2つの光カプラとそれらを結ぶ互いに長さの異なる2本の導波路からなるマッハツェンダ光干渉計であり、前記2本の光導波路のコア幅が、少なくとも一部において互いに異なり、前記2本の光導波路の複屈折を長手方向に積分した値が、互いに使用する光波長の $1/2$ 異なることを特徴とすることができる。

- 10 また、前記導波路型光干渉計が、シリコン基板上の石英系ガラス光導波路で構成されていることを特徴とすることができる。

また、前記導波路型光干渉計の光導波路を構成するコア膜の内部応力が、上部クラッド膜の内部応力に比べて2倍以上大きいことを特徴とすることができる。

図面の簡単な説明

- 15 F I G. 1は本発明の第1の実施形態の偏波無依存AWG（アレイ導波路格子型光波長合分波器）の構成を示す斜視図であり；

F I G. 2はF I G. 1の偏波無依存AWGのアレイ導波路部のコア幅がわかるように強調した上面図であり；

- 20 F I G. 3は導波路複屈折率のコア幅依存性を導波路複屈折率と導波路コア幅との関係で示すグラフであり；

F I G. 4 A - 4 Eは本発明の第1の実施形態の偏波無依存AWGの作製工程を示す工程図であり；

F I G. 5は本発明の第1の実施形態の偏波無依存AWGの透過スペクトル特性を透過率と波長との関係で示すグラフであり；

- 25 F I G. 6はF I G. 5の本発明の第1の実施形態との比較例として、単一のコア幅（7.0ミクロン）で設計したAWGの透過スペクトル特性を透過率と波長との関係で

示すグラフであり；

FIG. 7は本発明の第2の実施形態の偏波無依存AWGの構成を示す斜視図であり；

FIG. 8はFIG. 7の偏波無依存AWGのアレイ導波路部のコア幅がわかるよう
5 に強調した上面図であり；

FIG. 9は本発明の第2の実施形態の偏波無依存AWGの透過スペクトル特性を透過率と波長との関係で示すグラフであり；

FIG. 10は本発明の第3の実施形態の偏波無依存AWGのアレイ導波路部のコア幅がわかるように強調した上面図であり；

10 FIG. 11は本発明の第3の実施形態の偏波無依存AWGのアレイ導波路テーパ部の拡大図であり；

FIG. 12は本発明の第4の実施形態の偏波無依存AWGのアレイ導波路部のコア幅がわかるように強調した上面図であり；

FIG. 13は本発明の第5の実施形態の偏波無依存AWGのアレイ導波路部のコア
15 幅がわかるように強調した上面図であり；

FIG. 14は本発明の第6の実施形態の偏波無依存非対称マッハツェンダ光干渉計の構成を示す模式図であり；

FIG. 15は本発明の第6の実施形態の偏波無依存非対称マッハツェンダ光干渉計の透過スペクトル特性を光挿入損失と光周波数との関係で示すグラフであり；

20 FIG. 16はFIG. 15の本発明の第6の実施形態との比較例として、従来の非対称マッハツェンダ光干渉計（単一コア幅7ミクロン）の透過スペクトル特性を光挿入損失と光周波数との関係で示すグラフであり；

FIG. 17は本発明の第7の実施形態の偏波ビームスプリッタの構成を示す模式図であり、

25 FIG. 18は従来のAWGの構成例を示す斜視図であり；

FIG. 19は従来のAWGの他の構成例を示す斜視図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。

(第1の実施の形態)

- 5 FIG. 1に本発明の第1の実施形態における偏波無依存AWG（アレイ導波路格子型光波長合分波器）の回路構成を示す。このAWGには100本のアレイ導波路104が配置されており、スラブ導波路102および105との接続部のテーパ（図示せず）を除き、そのアレイ導波路104のコア幅が1本1本異なる。その他の構成は上述した従来例の、FIG. 18のAWGと同様である。ここで、101は入力導波路、102
10 は入力側のスラブ導波路、103はシリコン基板、105は出力側のスラブ導波路、106は出力導波路である。

- FIG. 2にFIG. 1のアレイ導波路部分のコア幅がわかるように強調した上面図を示す。FIG. 2に示すように、そのアレイ導波路104のコア幅が内側（短いアレイ導波路側）から外側（長いアレイ導波路側）に向けて徐々に細くなるよう設計している。ここで、202は最も内側のコア幅8.2ミクロンのアレイ導波路、201は最も
15 外側のコア幅5.8ミクロンのアレイ導波路を示す。

- 次に、本発明のきっかけとなった導波路複屈折Bとコア幅wとの関係をFIG. 3に示す。FIG. 3から導波路コア幅wが広いほど導波路複屈折Bが大きくなっていることがわかる。この導波路複屈折のコア幅依存性は、構造複屈折のコア幅依存性とは正
20 反対の依存性となっている。すなわち、構造複屈折はコア幅が広くなると小さくなる。このことから、本実施形態における導波路複屈折は応力誘起複屈折であることがわかる。

応力誘起複屈折はコアガラス、クラッドガラス、基板の材質や熱膨張係数に強く依存する。本実施形態では、コアガラス膜の内部応力がクラッドガラス膜の内部応力に比べて2倍以上大きな材料を使用している。

- 25 FIG. 3の導波路複屈折のコア幅依存性を以下に説明する。直感的な理解としては、コア幅がコア膜厚に比べて十分に狭い領域（極端な例として、コア幅が0）では、導波

路複屈折はクラッドガラス膜の内部応力によって律即される。これに対して、コア幅が
コア膜厚に比べて十分に広い領域（極端な例として、コア幅が無限大の場合）では、導
波路複屈折はコアガラス膜の内部応力によって律即される。本実施形態では、コアガラ
ス膜の内部応力がクラッドガラス膜の内部応力に比べて大きいため、コア幅が広くなる
5 と導波路複屈折も大きくなるという依存性が生じる。

本発明は、今回発見したFIG. 3の導波路複屈折のコア幅依存性を利用することによ
って、導波路複屈折そのものを0にしないで、TM光の中心波長 λ_{TM} とTE光の中
心波長 λ_{TE} を一致させる方法に関するものである。

本実施形態の導波路作製方法を、FIG. 4A-4Eを用いて簡単に説明する。シリ
10 コン基板103上に火炎堆積法で SiO_2 を主体にした下部クラッドガラススト
401、 SiO_2 に GeO_2 を添加したコアガラススト402を堆積する（FIG. 4
A）。

その後、1000℃以上の高温でガラス透明化を行う。この時に、下部クラッドガラ
ス層403は30ミクロン厚、コアガラス404は7ミクロン厚となるように、ガラス
15 の堆積を行っている（FIG. 4B）。

引き続き、フォトリソグラフィ技術を用いてコアガラス404上にエッチングマスク
405を形成し（FIG. 4C）、反応性イオンエッチングによってコアガラス404
のパターン化を行う（FIG. 4D）。

エッチングマスク405を除去した後、上部クラッドガラス406を再度火炎堆積法
20 で形成する。上部クラッドガラス406には B_2O_3 や P_2O_5 などのドーパントを添加し
てガラス転移温度を下げ、それぞれのコアガラス404とコアガラス404の狭い隙間
にも上部クラッドガラス406が入り込むようにしている（FIG. 4E）。

従来技術に述べたようにクラッドガラスに大量のドーパントを添加すると、シリコン
基板からガラス層にかかる圧縮応力が緩和され、導波路複屈折が減少する。しかし、そ
25 れと共にガラスの耐候性が劣化する。このため、本実施形態では、信頼性が十分に確保
できる条件として、クラッドガラス406に添加するドーパント量を抑制し、シリコン

基板103からガラス層へ10MPa以下の応力(10MPa以上の圧縮応力)を生
生させている。

次に、アレイ導波路の設計について述べる。AWGでは、隣接するアレイ導波路の光
路長差が一定になるように設計を行う。この場合、TMモードとTEモードの中心波長

5 λ_{TM} , λ_{TE} は以下の式(4), (5) で表される。

$$\lambda_{TM} = \frac{1}{m} \cdot \left(\int_0^{L_{k+1}} n_{TM} \cdot dx - \int_0^{L_k} n_{TM} \cdot dx \right) \quad (4)$$

$$\lambda_{TE} = \frac{1}{m} \cdot \left(\int_0^{L_{k+1}} n_{TE} \cdot dx - \int_0^{L_k} n_{TE} \cdot dx \right) \quad (5)$$

10

ここで L_k , L_{k+1} は k 番目および $k+1$ 番目のアレイ導波路の長さを示す。よって、偏波
による中心波長のズレがなくなる条件は、(4) 式と(5) 式の右辺が等しくなればよ
い。すなわち、以下の(6) 式が満たされれば、偏波による中心波長のズレがなくなり、
AWGの偏波依存性は解消される。

15

$$\int_0^{L_k} B \cdot dx = const. \quad (6)$$

ただし B は(1) 式で与えられる導波路複屈折である。(6) 式は、長手方向に積分し
た複屈折が異なるアレイ導波路間で一定の値になれば偏波依存性は解消されることを
20 意味している。

本実施形態では各アレイ導波路のコア幅は長手方向に一定で設計しているため、

(6) 式は以下の(7) 式のように簡単に書き表される。

$$B_k \cdot L_k = \text{const.} \quad (7)$$

ただし B_k は k 番目のアレイ導波路の複屈折である。

(7) 式は、短いアレイ導波路の複屈折は大きく、長いアレイ導波路の複屈折は小さくすれば、AWGの偏波依存性がなくなることを意味している。FIG. 3の結果を用いて、(7) 式を満たすように、100GHz 間隔16チャンネルのAWGを設計したところ、FIG. 2に示すように、一番長いアレイ導波路201のコア幅は5.8ミクロンに、一番短いアレイ導波路202のコア幅は8.2ミクロンになった。

AWGでは、一般に隣接するアレイ導波路の光路長差を一定にする必要がある。全てのアレイ導波路を1種類のコア幅で設計していた従来設計では、実効屈折率が全てのアレイ導波路で等しいため、隣接するアレイ導波路の物理的な長さの差は一定であった。しかし、本設計では一本一本のアレイ導波路コア幅が異なるため、それに応じて実効屈折率も異なる。この結果として、隣接するアレイ導波路間の物理的な長さの差は一定になるとは限らない。より詳しくは、実効屈折率とコア幅が比例する場合は、隣接するアレイ導波路間の物理的な長さの差は一定になるが、実効屈折率とコア幅が比例しない場合は、隣接するアレイ導波路間の物理的な長さの差は一定にならない。本実施形態では、実効屈折率とコア幅が比例していないため隣接するアレイ導波路間の物理的な長さの差は一定になっていない。

上記の設計を用いて作製したAWGの透過スペクトルをFIG. 5に示す。 λ_{TM} と λ_{TE} のズレは0.007nm以下(測定限界以下)であった。また、これと比較のため、単一のコア幅(7.0ミクロン)を用いて作製した従来型のAWGの透過スペクトルをFIG. 6に示す。 λ_{TM} と λ_{TE} のズレは0.12nmであった。FIG. 5とFIG. 6の比較により、コア幅を(7) 式を満足するように設計することにより、AWGの偏波依存性が解消できることがわかる。

本発明は、アレイ導波路のそれぞれの長さに応じてそのコア幅を変化させることで、有限の導波路複屈折を制御することにより、導波路複屈折そのものを0にしなくても、

導波路型光干渉計の偏波依存性を解消できることに特徴がある。導波路の複屈折の制御方法としては、応力付与膜を用いる方法 (M. Kawachi 他, "Laser trimming adjustment of waveguide birefringence in silica integrated-optic ring resonators," Proc. CLEO' 89, pp. 84-85, 1989. 参照) や、異種薄膜をコア直下に装荷する方法 (H. H. Yaffe 他, "Polarization-independent silica-on-silicon Mach-Zehnder interferometers," Journal of Lightwave Technology, vol. 12, pp. 64-67, 1994. 参照) が知られている。しかし、本発明は、このような付加的なプロセスを必要とせず、マスク設計パラメータであるコア幅を変えるだけで、その導波路複屈折を制御し、AWGの偏波依存性を解消できる点に最大の特長がある。

10 (第2の実施の形態)

FIG. 7に本発明の第2の実施形態の偏波無依存AWGを示す。ここで、701は入力導波路、702は入力側のスラブ導波路、703はシリコン基板、704はアレイ導波路、705は出力側のスラブ導波路、706は出力導波路である。本実施形態のAWGの概観は、FIG. 1の第1の実施形態のAWGと全く同じである。しかし、第1の実施形態では、アレイ導波路のコア幅が1本ずつ異なっていたのに対して、第2の実施形態では2種類のコア幅のアレイ導波路を用い、両者の長さの比を変化させることにより、等価的に導波路複屈折をアレイ導波路間で変化させている点が特徴である。また、2種類のコア幅の導波路間での接続損失を抑制するため、両者の間に連続的に幅が変化するテーパを挿入している。このテーパを挿入することにより、異なるコア幅の導波路間での接続過剰損失が0.5 dBから0.1 dB以下へと大幅に低減できる。

アレイ導波路704のコア幅がわかるように強調した上面図をFIG. 8に示す。本実施形態では、コア幅 $w_1=5.5$ ミクロンの導波路801と、コア幅 $w_2=8.5$ ミクロンの導波路802を用いて設計を行った。

第2の実施形態では、上記(7)式の代わりに次式(8)を用いる。

$$B(w_1) \cdot L_k(w_1) + B(w_2) \cdot L_k(w_2) = \text{const.} \quad (8)$$

ここで $L_k(w_1)$, $L_k(w_2)$ は k 番目のアレイ導波路におけるコア幅 5.5 ミクロンの長さおよびコア幅 8.5 ミクロンの長さ、 $B(w_1)$, $B(w_2)$ はコア幅 5.5 ミクロンの複屈折およびコア幅 8.5 ミクロンの複屈折をそれぞれ表す。

- 5 更に、隣接するアレイ導波路間での 5.5 ミクロン幅導波路 801 の長さの差を $\Delta L(w_1)$ 、および 8.5 ミクロン幅導波路 802 の長さの差を $\Delta L(w_2)$ とすると、隣接するアレイ導波路間での光路差は次のようになる。

$$m\lambda = n(w_1)\Delta L(w_1) + n(w_2)\Delta L(w_2)$$

10

これと、(8)式とから、 $\Delta L(w_1)$ 、 $\Delta L(w_2)$ はそれぞれ次式(9)、(10)で与えられる。

$$\Delta L(w_1) = L_{k+1}(w_1) - L_k(w_1) = \frac{B(w_2) \cdot m \cdot \lambda_{TM}}{B(w_2) \cdot n_{TM}(w_1) - B(w_1) \cdot n_{TM}(w_2)} \quad (9)$$

15

$$\Delta L(w_2) = L_{k+1}(w_2) - L_k(w_2) = \frac{-B(w_1) \cdot m \cdot \lambda_{TM}}{B(w_2) \cdot n_{TM}(w_1) - B(w_1) \cdot n_{TM}(w_2)} \quad (10)$$

今回作製した 100GHz 間隔 1×16 チャンネルのAWGでは、 $\Delta L(w_1) = 149$ ミクロン、 $\Delta L(w_2) = -86$ ミクロンと設計した。

- 20 第1の実施形態では、隣接するアレイ導波路の物理的な長さの差は一定ではなかったが、本実施形態では(9)式(10)式からわかるように隣接するアレイ導波路の物理的な長さの差は一定になる。

第2の実施形態のAWGは実質的には第1の実施形態のAWGと等価であり、その透過スペクトルもほぼ等しい。実際に作製した第2の実施形態のAWGの透過スペクトル

をFIG. 9に示す。従来設計のAWGの透過スペクトルのFIG. 6と比較して、その偏波依存性が解消されていることがわかる。

第1の実施形態に比べて、第2の実形態では、アレイ導波路の途中でコア幅の異なる導波路を接続しているため、この部分で生じたと思われる約0.1 dBの過剰損失分だけ挿入損失が大きくなった。この過剰損失は全体の挿入損失から見れば十分に小さな値であり、実効上問題にはならない。

第2の実施形態のAWGは、2種類のコア幅で設計ができ、 $\Delta L(w_1)$ および $\Delta L(w_2)$ が定数であるため、設計が容易である点が第1の実施形態よりも優れている。

10 本第2の実施形態では、2種類のコア幅を用いてアレイ導波路の設計を行ったが、3種類もしくはそれ以上のコア幅を用いてアレイ導波路の設計をすることも可能であることを付記しておく。

(第3の実施の形態)

FIG. 10に本発明の第3の実施形態の偏波無依存AWGを示す。第3の実施形態
15 の偏波無依存AWGは、ほとんど第2の実施形態の偏波無依存AWGと同じである。その相違点は、2種類の幅の異なる導波路を接続するテーパが、なめらかな曲線で設計される代わりに、複数の異なる幅の導波路を接続して設計されている点である。FIG. 11にテーパ部の拡大図を示す。

理論的には第2の実施形態で用いたなめらかな曲線からなるテーパの方が損失は低
20 くなるが、曲線導波路部でテーパを形成しようとする設計が複雑になるという問題があった。そこで実行上過剰損失が生じない方法として、本実施形態では8.5ミクロン幅の導波路と5.5ミクロン幅の導波路を、0.3ミクロン刻みで徐々に幅を変化させた導波路を接続してテーパを形成している。

実際にデバイスを作製したところ、損失、透過スペクトル共に第2の実施形態
25 と同等のものが得られた。

(第4の実施の形態)

FIG. 12に本発明の第4の実施形態の偏波無依存AWGを示す。第4の実施形態の偏波無依存AWGの原理は、第3の実施形態の偏波無依存AWGと同じである。

その相違点は、第3の実施形態の偏波無依存AWGでは、幅の広い導波路（本実施形態では8.5ミクロン幅の導波路）をアレイ導波路のスラブ側に配置し、幅の狭い導波路

5 （本実施形態では5.5ミクロン幅の導波路）をアレイ導波路の中央部に配置しているが、本実施形態では、反対に、幅の広い導波路をアレイ導波路の中央部に、幅の狭い導波路をアレイ導波路のスラブ側に配置している。

本実施形態のように配置することにより、アレイ導波路間での光結合を抑制することができ、結果的に歩留まりが向上する。

10 （第5の実施の形態）

FIG. 13に本発明の第5の実施形態の偏波無依存AWGを示す。本発明の偏波無依存AWGは（7）式もしくは（8）式を満足する必要がある。例えば、5.5ミクロン幅と8.5ミクロン幅の2種類の導波路を使用する場合、各々の複屈折の比から最も短いアレイ導波路の長さ： L_1 と、最も長いアレイ導波路の長さ： L_N の比は（11）

15 式で与えられる。

$$L_1 : L_2 = B(w_1) : B(w_2) \quad (11)$$

しかし、チャンネル波長間隔が狭くなりチャンネル数が増加すると、 L_1 と L_N の比を（11）式で与えられる値よりも大きくとる必要が生じる。逆に言えば、

（11）式で与えられる L_1 と L_N の比がAWGの設計自由度を制限することになる。

この課題を解消する方法として、本実施形態ではアレイ導波路中央部に直線部を設けることにより（11）式の制限を緩和した。すなわち、直線部の長さを L_s とすると、 $L_1 : L_2$ は（11）式を満足したまま直線部以外の長さの比 $L_1 - L_s : L_N - L_s$ は
25 L_s を任意に与えることにより自由に設計できることになる。

具体的には、アレイ導波路中央部に直線導波路を設けない場合は50GHz間隔40

チャンネルまでが設計の限界であったが、アレイ導波路中央部に直線導波路を設けることにより10GHz間隔64chのように大規模な回路の設計が可能になった。

(第6の実施の形態)

FIG. 14に本発明の第6の実施形態としてチャンネル間隔100GHz(FSR
200GHz)の非対称マッハツェンダ光干渉計の構成を示す。本実施形態は、第1の
実施形態の偏波無依存化の原理を非対称マッハツェンダ光干渉計に適用したものである。

ここで、1401はコア幅7ミクロンの入力導波路、1402は入力側の50%方向
性結合器(光カプラ)、1403はコア幅7ミクロンのアーム導波路、1404はコア
幅6ミクロンのアーム導波路、1405はコア幅8ミクロンのアーム導波路、1406
は出力側の50%方向性結合器、1407はコア幅7ミクロンの出力導波路である。異
なるコア幅の導波路間は幅が徐々に変化するテーパを挿入している。

FIG. 14に示すように、2本のコア幅7ミクロンのアーム導波路1403の一部
を、それぞれ長さの異なるコア幅6ミクロンのアーム導波路1404、コア幅8ミクロ
ンのアーム導波路1405に、それぞれ置き換えて接続したような、コア幅を異ならせ
た構成となっている。このように、本実施形態の非対称マッハツェンダ光干渉計は、2
本のアーム導波路の幅を $w_1=6$ ミクロン、 $w_2=8$ ミクロン、 $w_0=7$ ミクロンのコア幅を
用いて構成している。

コア幅 w_1, w_2 の長さ $L(w_1), L(w_2)$ は次式(12)、(13)で与えられる。

$$L(w_1) = \frac{B(w_2)}{B(w_1) \cdot n_{TM}(w_2) - B(w_2) \cdot n_{TM}(w_1)} \cdot \frac{c}{FSR} \quad (12)$$

$$L(w_2) = \frac{B(w_1)}{B(w_1) \cdot n_{TM}(w_2) - B(w_2) \cdot n_{TM}(w_1)} \cdot \frac{c}{FSR} \quad (13)$$

ここで c は光速を表す。また、コア幅 w_0 の長さ $L(w_0)$ は 2 本のアーム導波路に同じ長さだけ挿入しているため、干渉計に影響を及ぼさない。コア幅 w_0 の導波路 1403 は光回路の設計自由度を高める目的で挿入している。

本実施形態では、 $L(w_1)=2.96\text{ mm}$ 、 $L(w_2)=1.92\text{ mm}$ として設計を行った。

- 5 FIG. 15 に上記の設計に基づいて作製した非対称マッハツェンダ光干渉計の透過スペクトルを示す。これと比較のために、FIG. 16 にコア幅 7 ミクロンの導波路のみを用いて作製した従来型の非対称マッハツェンダ光干渉計の透過スペクトルを示す。
- FIG. 15 と FIG. 16 から明らかなように、本実施形態の非対称マッハツェンダ光干渉計においては偏波依存性が解消されていることがわかる。

10 (第 7 の実施の形態)

FIG. 17 に本発明の第 7 の実施形態としての偏波ビームスプリッタの構成を示す。ここで、1701 はコア幅 7 ミクロンの入力導波路、1702 は入力側の 50% 方向性結合器、1703 はコア幅 5 ミクロンのアーム導波路、1704 はコア幅 10 ミクロンのアーム導波路、1705 は出力側の 50% 方向性結合器、1706 はコア幅 7 ミクロ

15 ンの出力導波路である。

上述した本発明の第 1、第 2、第 3 の実施形態は、それぞれ AWG、非対称マッハツェンダ光干渉計の偏波依存性を解消したものであったが、本実施形態は反対にマッハツェンダ光干渉計の偏波依存性を増強し、偏波によって出力ポートが変わる偏波ビームスプリッタを実現したものである。

- 20 偏波ビームスプリッタを実現するためには、例えば TM 光にとっての光路長差が $\lambda/2$ 、TE 光にとっての光路長差が 0 になるように設計する必要がある。本実施形態では、コア幅 $w_1=5$ ミクロンの導波路 1703 とコア幅 $w_2=10$ ミクロンの導波路 1704 を用いた。上記の条件は以下の式 (14)、(15) で表される。

$$n_{TM}(w_1) \cdot L(w_1) - n_{TM}(w_2) \cdot L(w_2) = -\frac{\lambda}{2} \quad (14)$$

$$n_{TE}(w_1) \cdot L(w_1) - n_{TE}(w_2) \cdot L(w_2) = 0 \quad (15)$$

ここで、 λ は光波長を表す。(14)、(15)式を変形することにより、 $L(w_1)$,

5 $L(w_2)$ を求める以下の式(16)、(17)が得られる。

$$L(w_1) = \frac{n_{TE}(w_2)}{n_{TE}(w_1) \cdot n_{TM}(w_2) - n_{TE}(w_2) \cdot n_{TM}(w_1)} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (16)$$

$$L(w_2) = \frac{n_{TE}(w_1)}{n_{TE}(w_1) \cdot n_{TM}(w_2) - n_{TE}(w_2) \cdot n_{TM}(w_1)} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (17)$$

10

(16)(17)式により、それぞれのアーム導波路1703、1704の長さ $L(w_1)$ 、 $L(w_2)$ はそれぞれ6.53mm、6.52mmに設計すればよいことがわかる。実際にこの条件で作製を行ったところ、通信光波長1.55ミクロンの入力光に対して、TM光はスルーポートに出力され、TE光はクロスポートに出力される偏波ビームスプリッタ機能が確認された。クロスポートにおけるTE光に対するTM光のレベル(偏波ビームスプリッタのクロストーク)は-19dBであった。

15

(その他の実施の形態)

以上述べた本発明の各実施形態では、シリコン基板上の石英系ガラス導波路を用いた光干渉計を示したが、その導波路材料がポリイミド、シリコン、半導体、

20

LiNbO_3 などであっても本発明の上記の原理は適用可能である。また、基板もシリコンに限定するものではない。

上記の本発明の実施形態では、複屈折がコア幅に依存する原因として、応力誘起の複屈折であると説明したが、この原因が構造複屈折の場合も、上記で示した式を用いて偏波無依存、もしくは偏波依存性を実現することが可能である。

上記の本発明の実施形態では、コア幅を広げると導波路複屈折が増加する場合について述べているが、その反対にコア幅を広げると導波路複屈折が低下する場合でも、上記の式を満たすようにコア幅を設計すれば、偏波依存性をなくすることができる。

また、上記の本発明の実施形態では、シリコン基板上の石英系光導波路を対象としたが、石英基板上の石英系光導波路では一般に複屈折は負になる。ポリマー光導波路では材料によって複屈折の正負が異なる。例えば、ポリイミド光導波路では複屈折が正になり、シリコン光導波路では負になる。よって、AWGにおいて長いアレイ導波路のコア幅を短いアレイ導波路のコア幅よりも太くするか細くするかは一樣ではない。しかしどのような場合でも、上記の(6)式が成立するようにアレイ導波路のコア幅を決めればよい。

本発明の本質は複屈折が導波路コア幅に依存しており、そのことを利用して偏波無依存、もしくは偏波依存性を実現したことにある。

以上説明したように、本発明によれば、導波路幅を変えるだけで偏波無依存動作を実現したり、逆に偏波ビームスプリッタを実現したりすることができる効果が得られる。

また、本発明によれば、AWGの偏波無依存化のために使用していた従来技術1の1/2波長板を使用する必要がなくなるためAWGの低コスト化が可能となる。

また、本発明によれば、従来技術の第2例で紹介した圧縮応力のないガラスを用いる必要がなくなり、圧縮応力のあるガラスを用いて光回路を構成できるため、耐候性をはじめとする光部品の信頼性が飛躍的に向上する効果も得られる。

20

産業上の利用可能性

以上のように、本発明にかかる導波路型光干渉計は、光波長多重通信システムにおいて、送信側で複数の波長の光信号を合波したり、受信側で1本の光ファイバ中の複数の光信号を異なるポートに分波する光波長合分波器として用いるのに有用である。

請 求 の 範 囲

1. 基板上の光導波路で構成される光干渉計において、
前記光干渉計が光分岐部、複数の長さの異なる光導波路、および光結合部から構成さ
5 れており、
前記複数の長さの異なる光導波路の長手方向に平均したコア幅が互いに異なること
を特徴とする導波路型光干渉計。
2. 前記複数の長さの異なる光導波路の複屈折を長手方向に積分した値が、複数の
10 光導波路間で等しいことを特徴とする請求項 1 に記載の導波路型光干渉計。
3. 前記導波路型光干渉計が、2つのスラブ導波路とそれらを結ぶ互いに長さの異
なる複数のアレイ導波路からなるアレイ導波路格子型光波長合分波器であり、
その複数のアレイ光導波路コア幅が各アレイ導波路の長さに応じて互いに異なり、且
15 つスラブ導波路との接続部を除き一定の幅であることを特徴とする請求項 1 に記載の
導波路型光干渉計。
4. 前記導波路型光干渉計が、2つのスラブ導波路とそれらを結ぶ互いに長さの異
なる複数のアレイ導波路からなるアレイ導波路格子型光波長合分波器であり、
20 その複数のアレイ光導波路コア幅が各アレイ導波路の長さに応じて互いに異なり、且
つスラブ導波路との接続部を除き一定の幅であることを特徴とする請求項 2 に記載の
導波路型光干渉計。
5. 前記導波路型光干渉計が、2つのスラブ導波路とそれらを結ぶ互いに長さの異
25 なる複数のアレイ導波路からなるアレイ導波路格子型光波長合分波器であり、
その複数のアレイ光導波路が、スラブ導波路との接続部を除き 2 種類のコア幅の導波

路で構成されており、その２種類の導波路長の比が複数のアレイ導波路間で互いに異なることを特徴とする請求項１に記載の導波路型光干渉計。

6. 前記導波路型光干渉計が、２つのスラブ導波路とそれらを結ぶ互いに長さの異なる複数のアレイ導波路からなるアレイ導波路格子型光波長合分波器であり、

その複数のアレイ光導波路が、スラブ導波路との接続部を除き２種類のコア幅の導波路で構成されており、その２種類の導波路長の比が複数のアレイ導波路間で互いに異なることを特徴とする請求項２に記載の導波路型光干渉計。

7. 前記２種類のコア幅の導波路が、幅が徐々に変化するテーパで接続されていることを特徴とする請求項５に記載の導波路型光干渉計。

8. 前記２種類のコア幅の導波路が、幅が徐々に変化するテーパで接続されていることを特徴とする請求項６に記載の導波路型光干渉計。

15

9. 前記導波路型光干渉計が、２つの光カプラとそれらを結ぶ互いに長さの異なる２本の導波路からなるマッハツェンダ光干渉計であり、

前記２本の光導波路のコア幅が、少なくとも一部において互いに異なることを特徴とする請求項１に記載の導波路型光干渉計。

20

10. 前記導波路型光干渉計が、２つの光カプラとそれらを結ぶ互いに長さの異なる２本の導波路からなるマッハツェンダ光干渉計であり、

前記２本の光導波路のコア幅が、少なくとも一部において互いに異なることを特徴とする請求項２に記載の導波路型光干渉計。

25

11. 基板上の光導波路で構成される光干渉計において、

前記光干渉計が光分岐部、複数の長さの異なる光導波路、および光結合部から構成されており、

前記複数の長さの異なる光導波路の長手方向に平均したコア幅が、短い光導波路で広く、長い光導波路で狭いことを特徴とする導波路型光干渉計。

5

1 2. 前記複数の長さの異なる光導波路の複屈折を長手方向に積分した値が、複数の光導波路間で等しいことを特徴とする請求項 1 1 に記載の導波路型光干渉計。

1 3. 前記導波路型光干渉計が、第 1 のスラブ導波路、第 2 のスラブ導波路、それら
10 を結ぶ互いに長さの異なる複数のアレイ導波路、前記第 1 のスラブ導波路に接続された 1 本あるいは複数本の入力導波路、前記第 2 のスラブ導波路に接続された 1 本あるいは複数本の出力導波路からなるアレイ導波路格子型光波長合分波器であり、

前記アレイ光導波路の長手方向に平均したコア幅が、短い光導波路で広く、長い光導波路で狭く、その結果として、

15 前記複数のアレイ導波路の複屈折を長手方向に積分した値が、複数のアレイ導波路間で等しいことを特徴とする請求項 1 2 に記載の導波路型光干渉計。

1 4. 前記複数のアレイ導波路の個々の導波路に関して、前記第 1 および第 2 のスラブ導波路との接続部を除き長手方向に一定の幅であることを特徴とする請求項 1 3 に
20 記載の導波路型光干渉計。

1 5. 前記複数のアレイ導波路の個々の導波路に関して、前記第 1 および第 2 のスラブ導波路との接続部を除き 2 種類もしくは複数種類のコア幅で構成されており、その 2 種類もしくは複数種類の導波路長の比が複数のアレイ導波路間で互いに異なることを
25 特徴とする請求項 1 3 に記載の導波路型光干渉計。

16. 前記2種類もしくは複数種類のコア幅の導波路が、幅が連続的に変化するテーパで接続されていることを特徴とする請求項15に記載の導波路型光干渉計。
17. 前記異なるコア幅の導波路を接続するテーパが、幅の異なる導波路を複数本接続して構成されていることを特徴とする請求項15に記載の導波路型光干渉計。
18. 前記互いに長さの異なる複数のアレイ導波路中央部近傍が直線導波路になっていることを特徴とする請求項13に記載の導波路型光干渉計。
19. 前記互いに長さの異なる複数のアレイ導波路中央部近傍が直線導波路になっていることを特徴とする請求項15に記載の導波路型光干渉計。
20. 前記導波路型光干渉計が、2つの光カプラとそれらを結ぶ互いに長さの異なる2本の導波路からなるマッハツェンダ光干渉計であり、
- 前記2本の光導波路のコア幅が、少なくとも一部において互いに異なり、
相対的に短い導波路の平均コア幅が長い導波路の平均コア幅に比べて広いことを特徴とする請求項11に記載の導波路型光干渉計。
21. 前記導波路型光干渉計が、2つの光カプラとそれらを結ぶ互いに長さの異なる2本の導波路からなるマッハツェンダ光干渉計であり、
- 前記2本の光導波路のコア幅が、少なくとも一部において互いに異なり、
相対的に短い導波路の平均コア幅が長い導波路の平均コア幅に比べて広いことを特徴とする請求項12に記載の導波路型光干渉計。
22. 前記導波路型光干渉計が、2つの光カプラとそれらを結ぶ互いに長さの異なる2本の導波路からなるマッハツェンダ光干渉計であり、

前記2本の光導波路のコア幅が、少なくとも一部において互いに異なり、

前記2本の光導波路の複屈折を長手方向に積分した値が、互いに使用する光波長の
1/2異なることを特徴とする請求項1に記載の導波路型光干渉計。

- 5 23. 前記導波路型光干渉計が、2つの光カプラとそれらを結ぶ互いに長さの異なる
2本の導波路からなるマッハツェンダ光干渉計であり、

前記2本の光導波路のコア幅が、少なくとも一部において互いに異なり、

前記2本の光導波路の複屈折を長手方向に積分した値が、互いに使用する光波長の
1/2異なることを特徴とする請求項11に記載の導波路型光干渉計。

10

24. 前記導波路型光干渉計が、シリコン基板上の石英系ガラス光導波路で構成され
ていることを特徴とする請求項1に記載の導波路型光干渉計。

- 25 25. 前記導波路型光干渉計が、シリコン基板上の石英系ガラス光導波路で構成され
ていることを特徴とする請求項11に記載の導波路型光干渉計。

26. 前記導波路型光干渉計が、シリコン基板上の石英系ガラス光導波路で構成され
ていることを特徴とする請求項13に記載の導波路型光干渉計。

- 20 27. 前記導波路型光干渉計の光導波路を構成するコア膜の内部応力が、上部クラッ
ド膜の内部応力に比べて2倍以上大きいことを特徴とする請求項1に記載の導波路型
光干渉計。

- 25 28. 前記導波路型光干渉計の光導波路を構成するコア膜の内部応力が、上部クラッ
ド膜の内部応力に比べて2倍以上大きいことを特徴とする請求項11に記載の導波路
型光干渉計。

29. 前記導波路型光干渉計の光導波路を構成するコア膜の内部応力が、上部クラッド膜の内部応力に比べて2倍以上大きいことを特徴とする請求項13に記載の導波路型光干渉計。

1/19

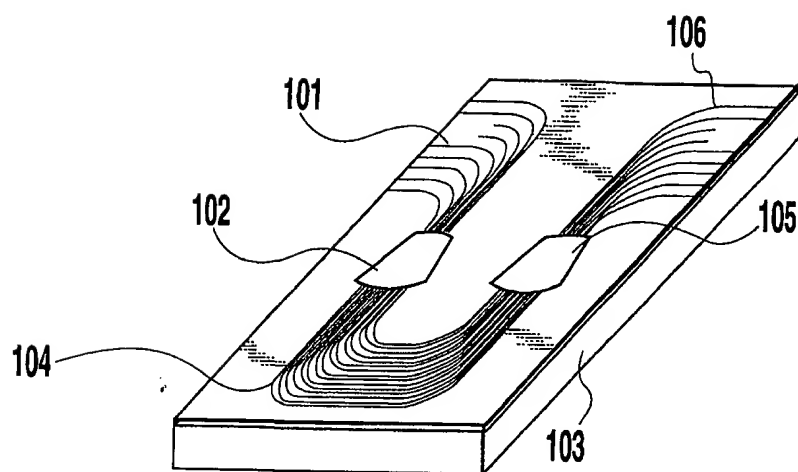


FIG.1

2/19

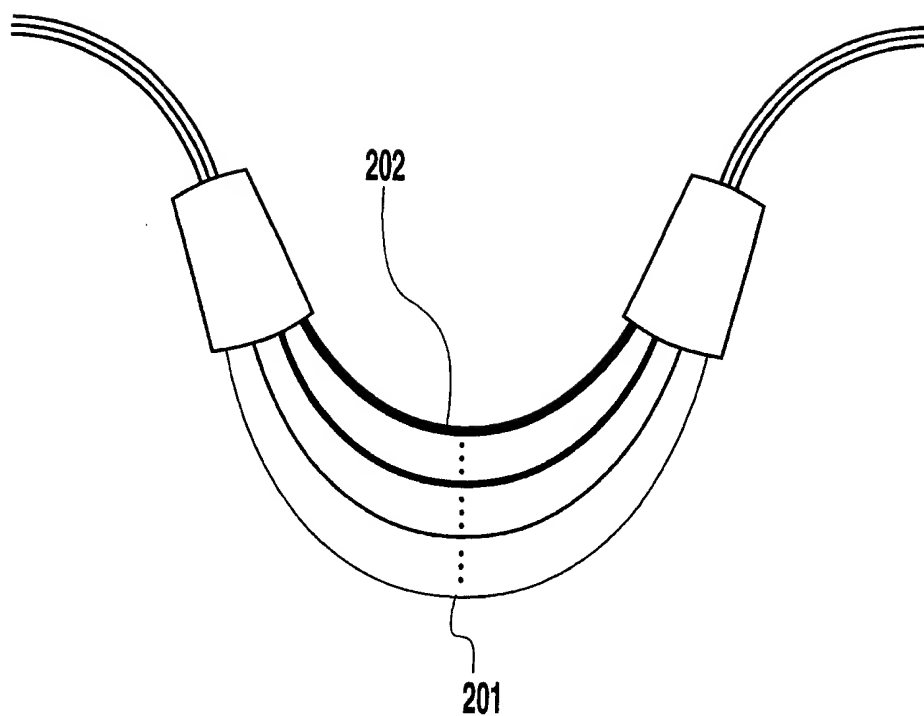


FIG. 2

3/19

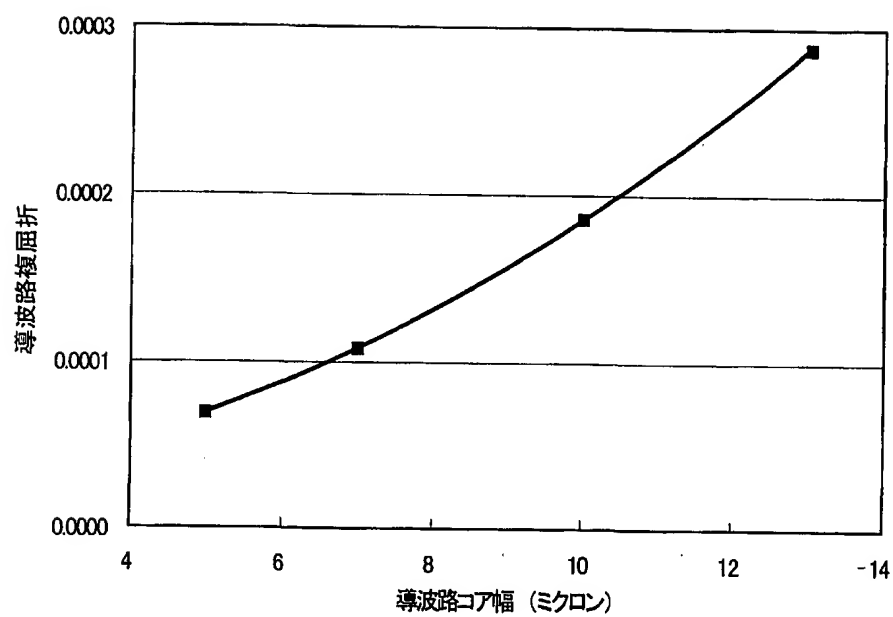
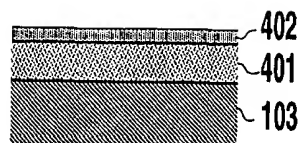


FIG.3

4/19

FIG.4A



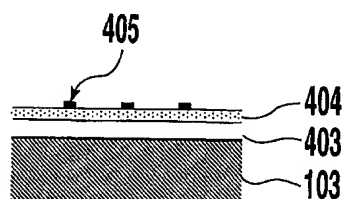
↓ 熱処理による透明化

FIG.4B



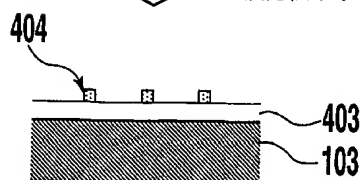
↓ フォトリソグラフィによるパターン化

FIG.4C



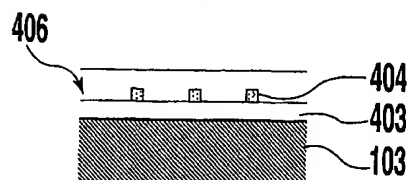
↓ 反応性イオンエッチング

FIG.4D



↓

FIG.4E



5/19

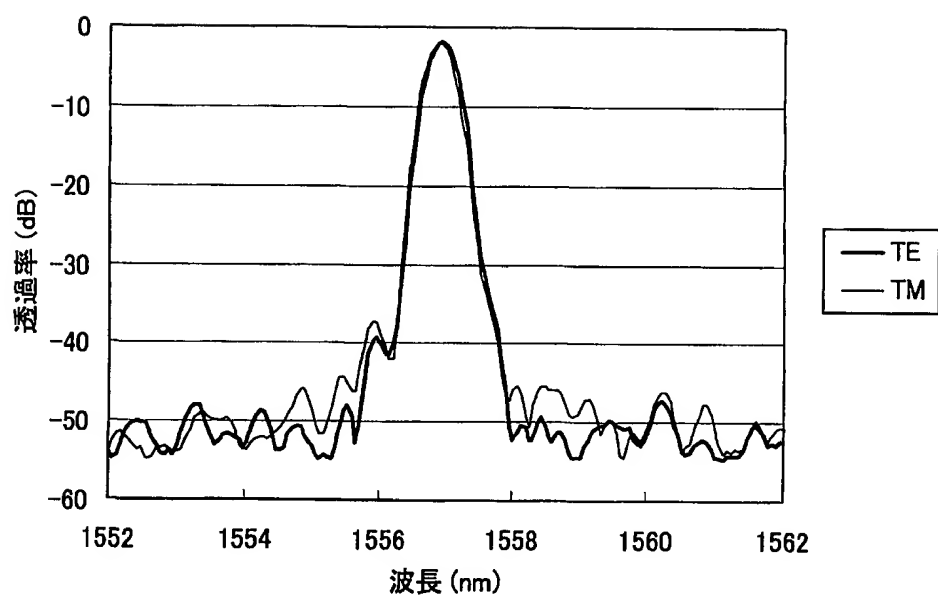


FIG.5

6/19

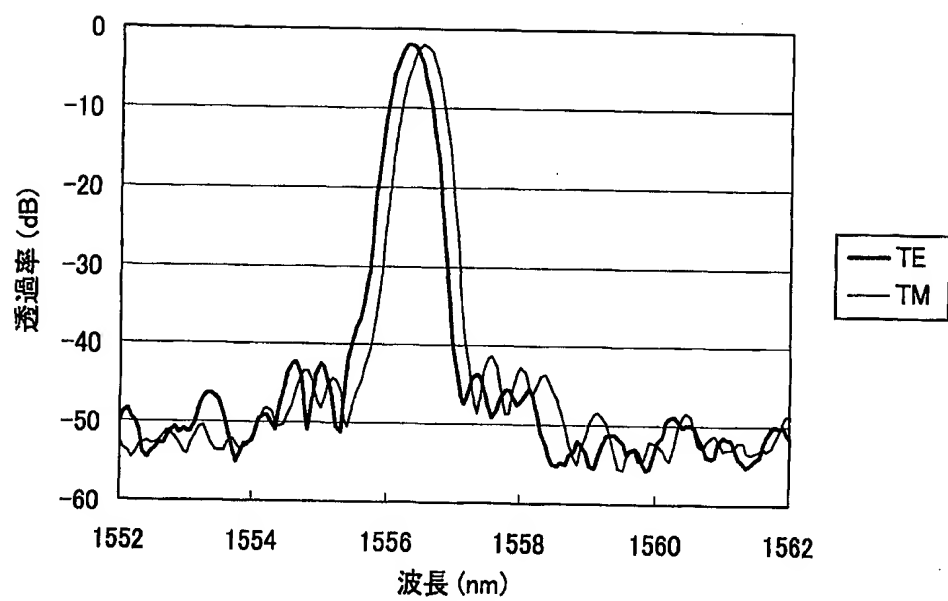


FIG.6

7/19

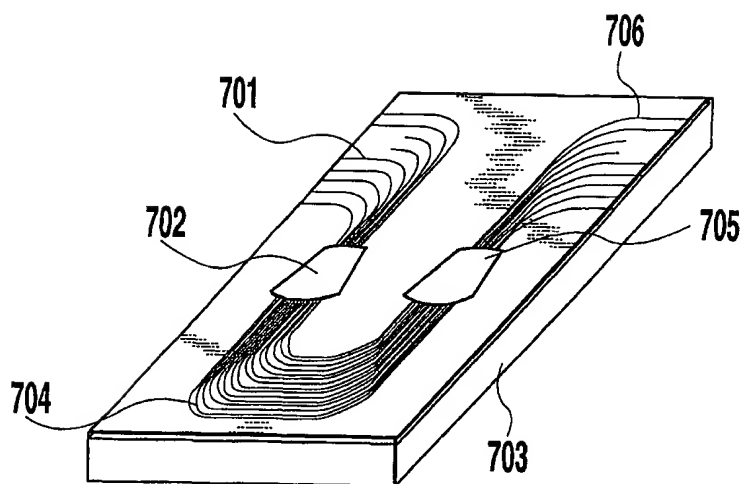


FIG.7

8/19

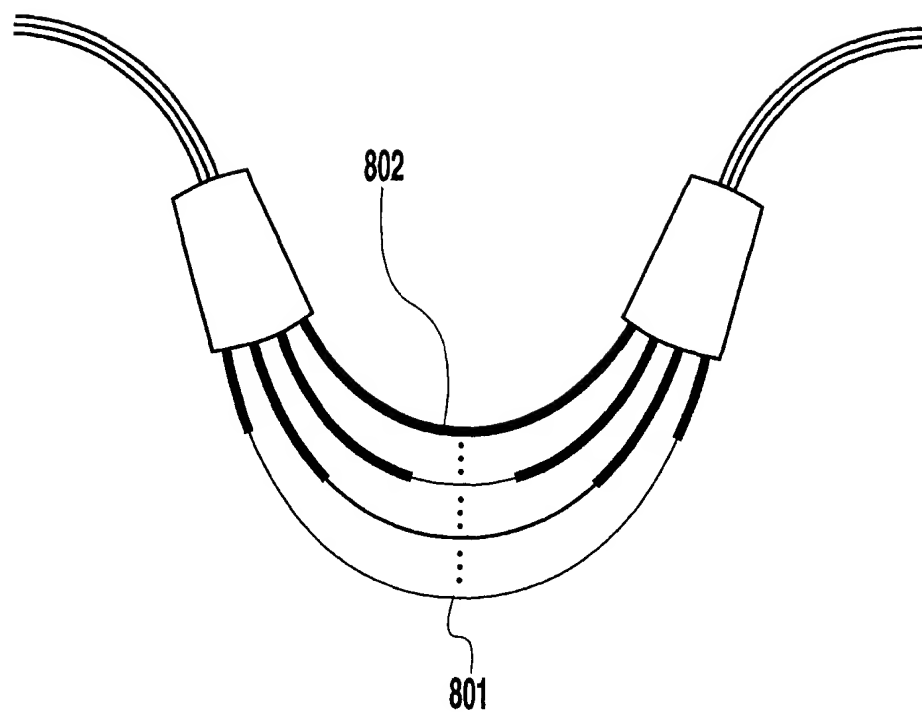


FIG. 8

9/19

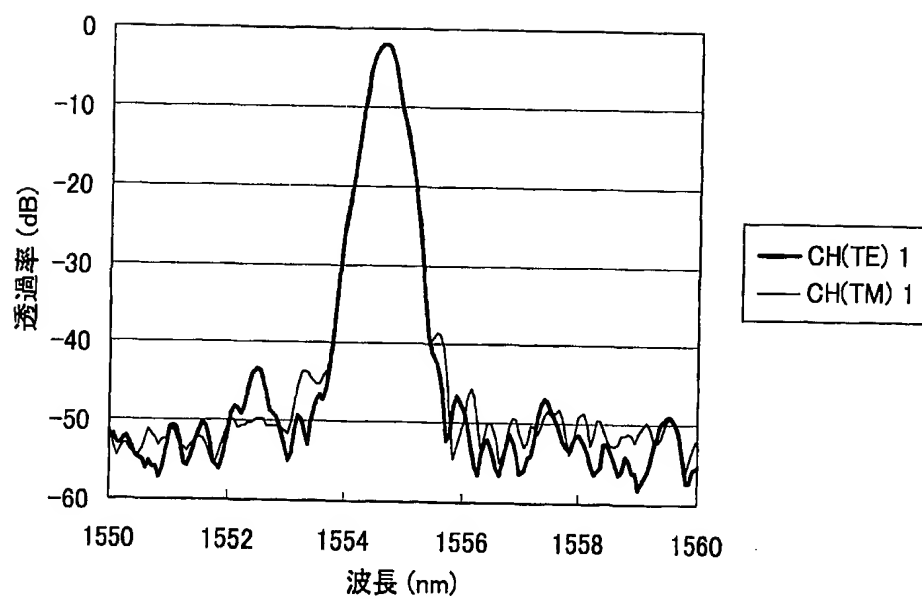


FIG.9

10/19

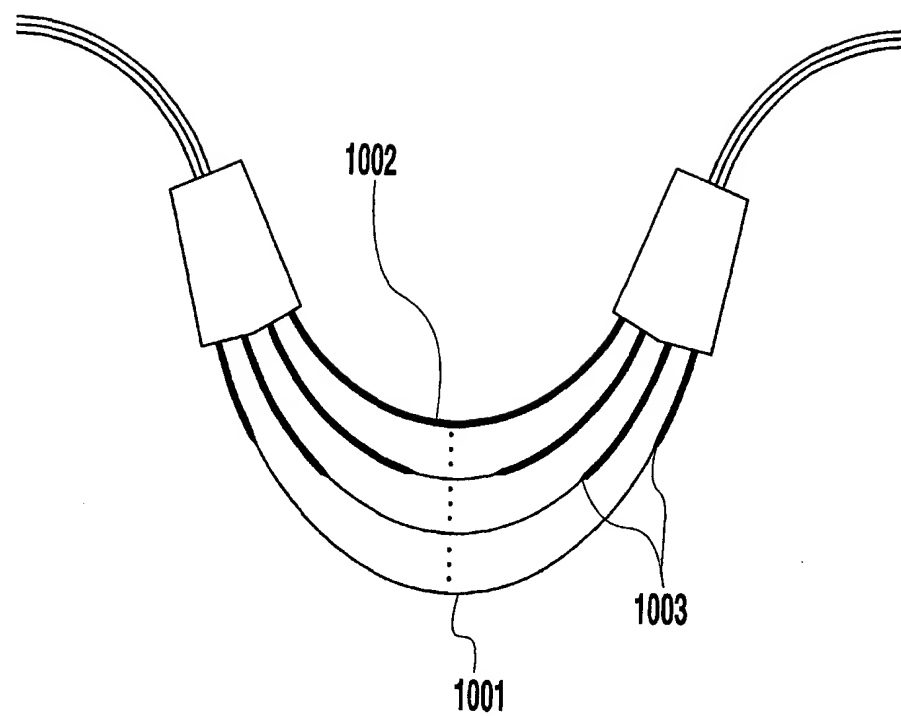


FIG.10

11/19

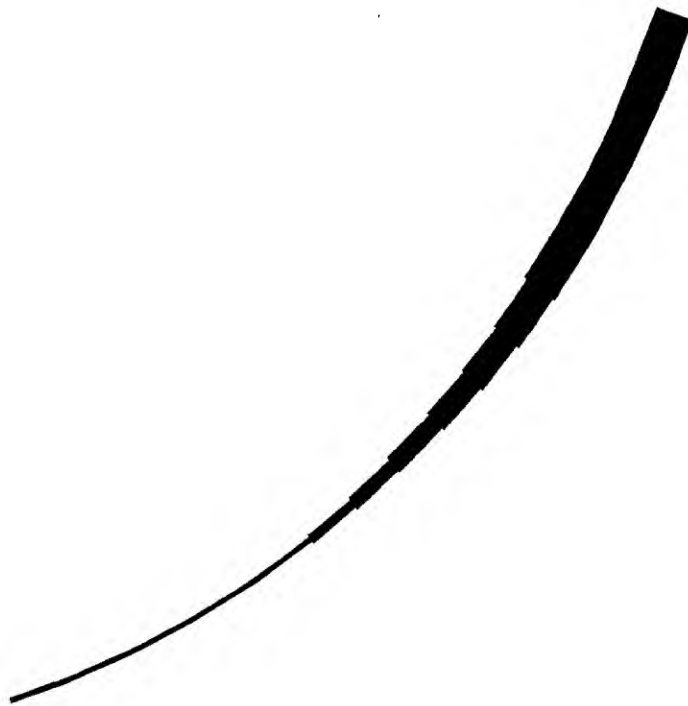


FIG.11

12/19

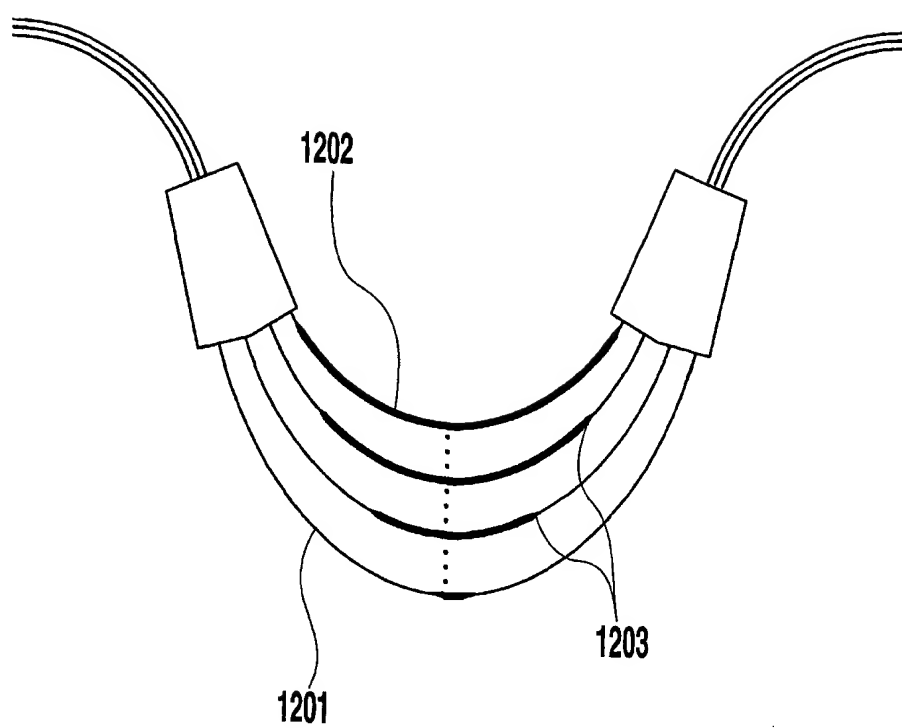


FIG.12

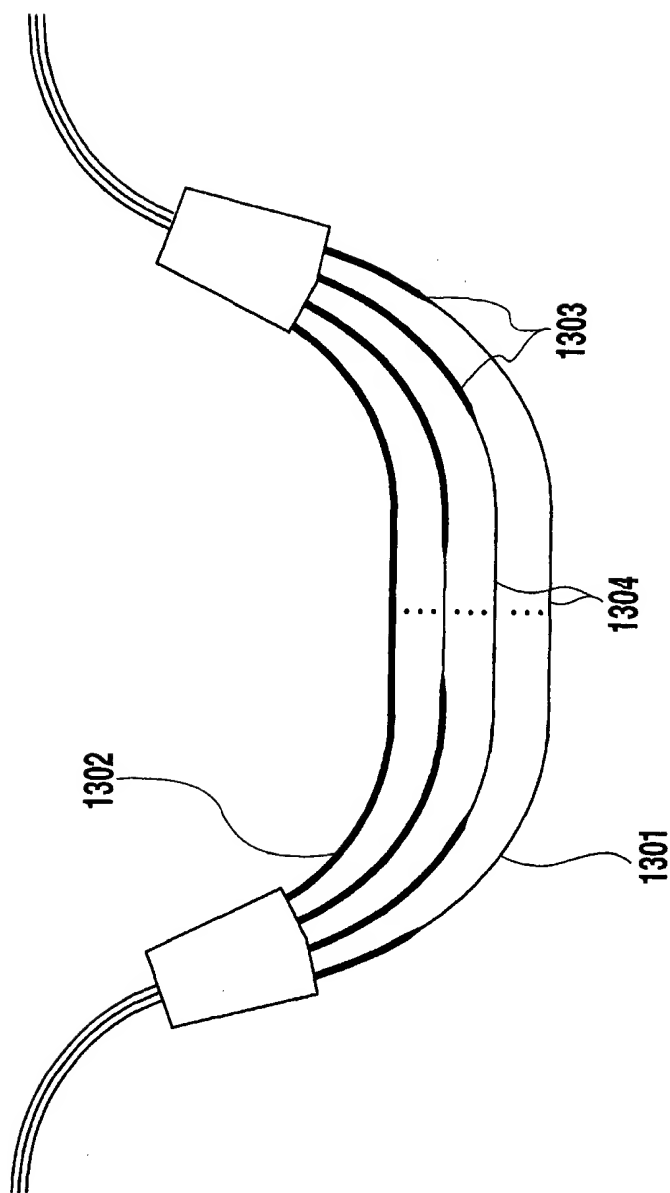


FIG.13

14/19

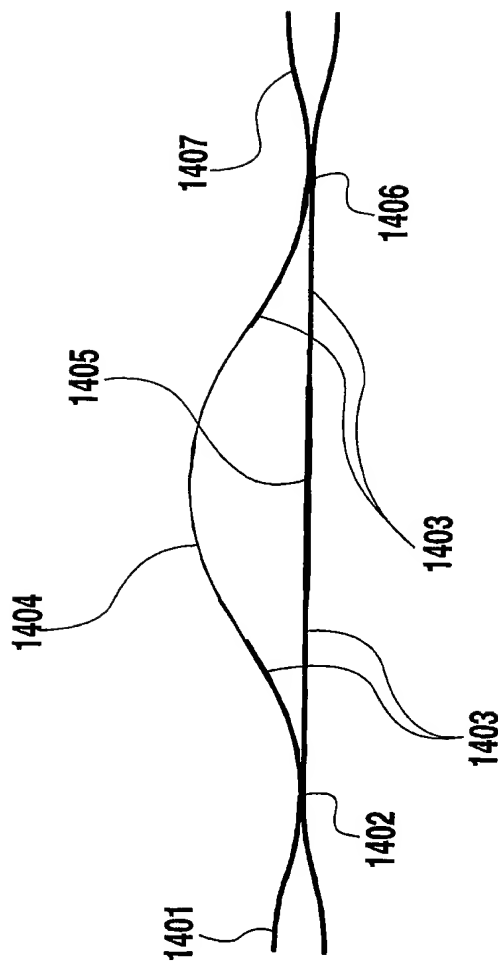


FIG.14

15/19

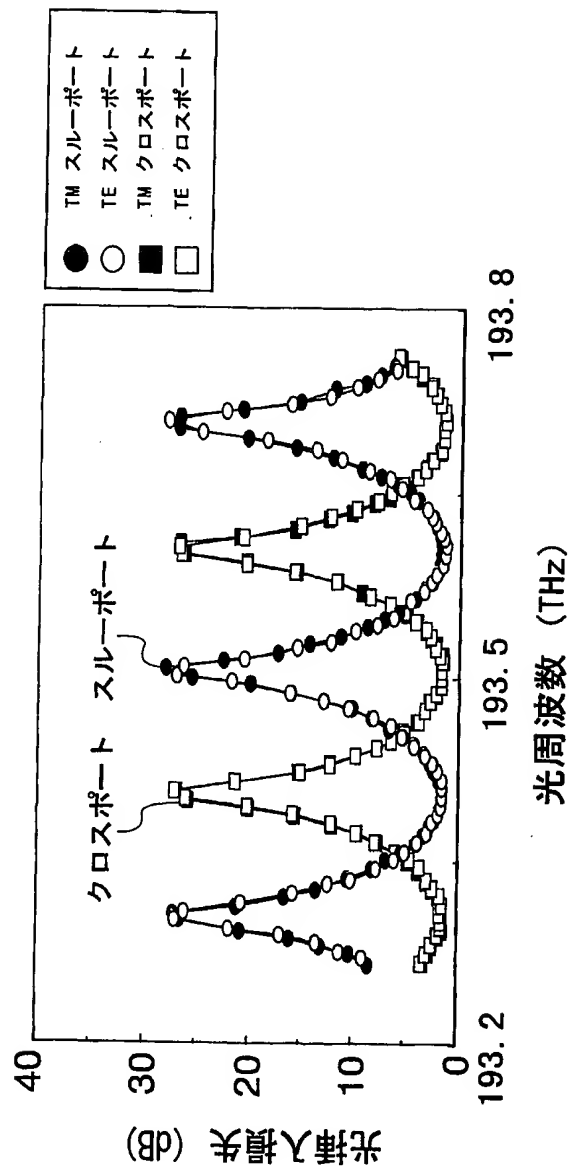


FIG.15

16/19

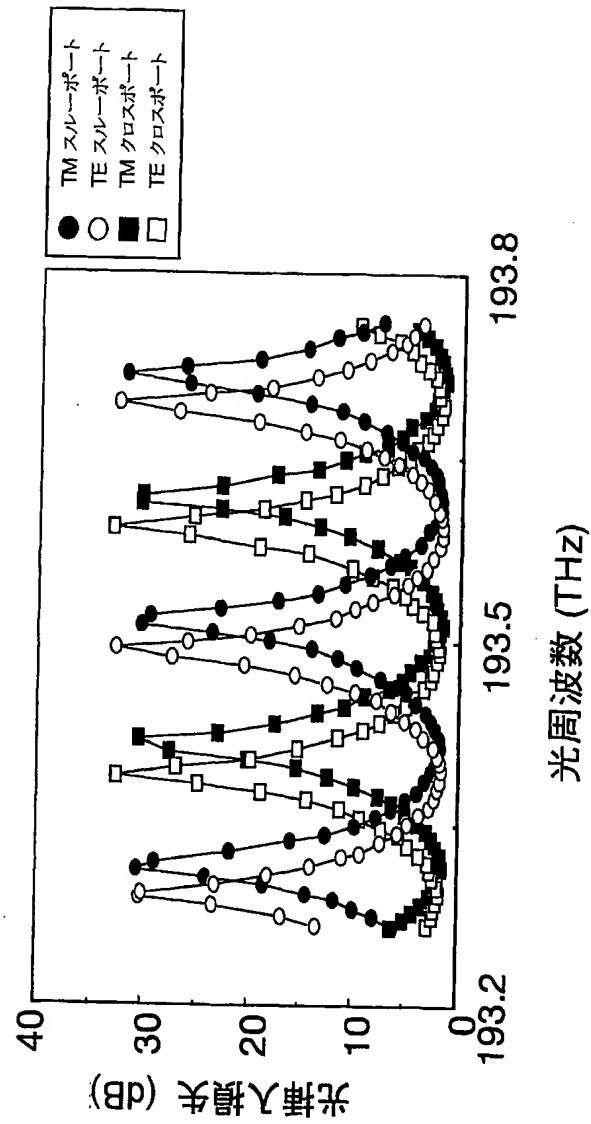


FIG.16

17/19

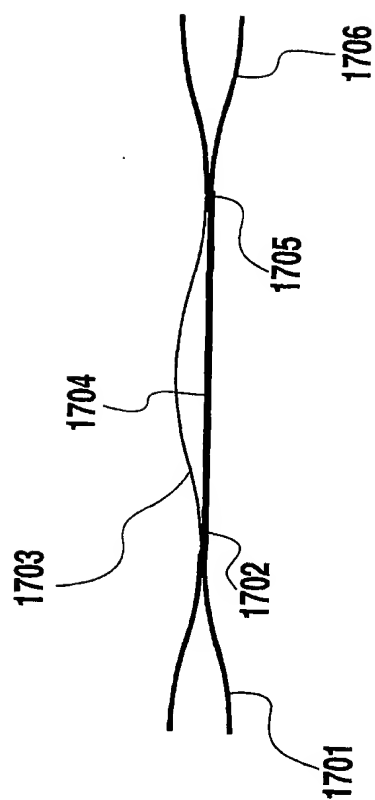


FIG.17

18/19

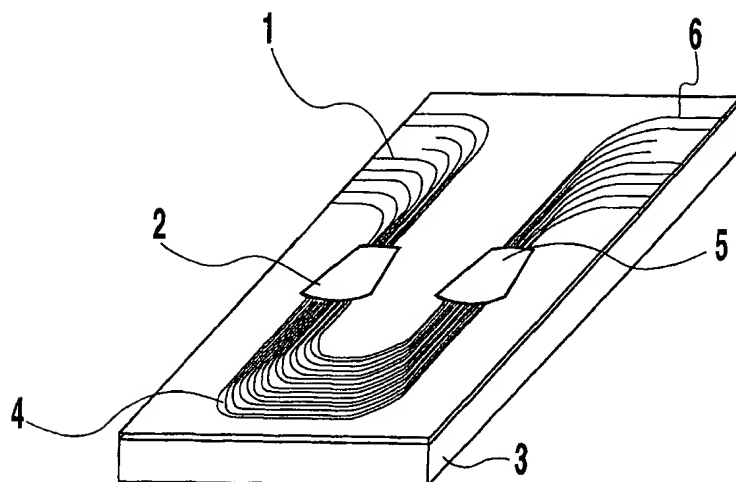


FIG.18

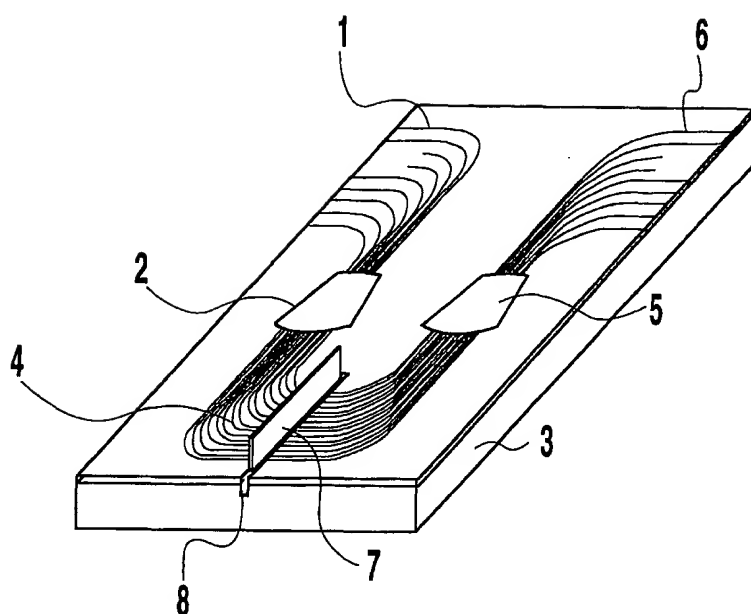


FIG.19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/00938

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int. Cl⁷ G02B6/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl⁷ G02B6/12-6/14, 6/28-6/293, 6/34

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2001

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2001 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2001

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JICST FILEJOIS)

JQUICK FILE (JOIS)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP, 5-288946, A (Nippon Telegr. & Teleph. Corp. <NTT>), 05 November, 1993 (05.11.93) (Family: none)	1-29
X A	JP, 7-230012, A (Hitachi Cable, Ltd.), 29 August, 1995 (29.08.95) (Family: none)	1-2, 24, 27 3-23, 28-29
E, X	JP, 2001-51139, A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 23 February, 2001 (23.02.01) (Family: none)	1-2, 5-13, 15-29
E, A		3-4, 14

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not
considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing
date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is
cited to establish the publication date of another citation or other
special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other
means
"P" document published prior to the international filing date but later
than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or
priority date and not in conflict with the application but cited to
understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be
considered novel or cannot be considered to involve an inventive
step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be
considered to involve an inventive step when the document is
combined with one or more other such documents, such
combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 March, 2001 (07.03.01)

Date of mailing of the international search report
21 March, 2001 (21.03.01)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B6/12

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B6/12-6/14, 6/28-6/293, 6/34

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2001年
 日本国登録実用新案公報 1994-2001年
 日本国実用新案登録公報 1996-2001年

国際調査で使用了電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JICSTファイル (JOIS)
 JQUICKファイル (JOIS)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP, 5-288946, A (日本電信電話株式会社) 5, 11月, 1993 (05. 11. 93) (ファミリーなし)	1-29
X A	JP, 7-230012, A (日立電線株式会社) 29, 8月, 1995 (29. 08. 95) (ファミリーなし)	1-2, 24, 27 3-23, 28-29
E, X	JP, 2001-51139, A (住友電気工業株式会社) 23, 2月, 2001 (23. 02. 01) (ファミリーなし)	1-2, 5-13, 15- 29
E, A		3-4, 14

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

07. 03. 01

国際調査報告の発送日

21.03.01

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

岡田 吉美

印

2K 9315

電話番号 03-3581-1101 内線 3253